サービス用知能移動ロボットの開発*

(第2報, 視覚センサを用いた自己位置認識システム)

田中孝之^{*1}, 山藤和男^{*1}
渡邊浩樹^{*2}, 片江毅^{*2}

Development of Intelligent Mobile Robot for Service Use (2nd Report, Self Position Detection System Using a Visual Sensor)

Takayuki TANAKA, Kazuo YAMAFUJI,
Hiroki WATANABE and Takeshi KATAE

We have developing an intelligent mobile robot for service use which can be utilized as a "secretary or helper robot" in day time and "security guard or maintenance including floor-cleaning robot" in night in office buildings. Since the service robot works or moves autonomously living together with human being in office environments, it must be able to recognize its absolute position and environment. In this paper, we proposed two types of self positioning method based on a visual sensor. One is the global self positioning (GSP) which is realized by recognition of a room number plate. The another is local self positioning (LSP) in which the position is calculated by the relation between the robot and three lighting landmarks, such as two exit lamps and a fire hydrant lamp in corridors. Experimental results show that proposed methods are very effective in self positioning for the autonomous mobile robot.

Key Words: Mobile Robot, Self Position Detection, CCD Camera, Lighting Landmarks

1. 序 論

筆者らは, 1992年4月から国内7社と共同でオフィスビルにおける比較的単純な事務的業務や管理的業務のロボットによる代行を目的として, ビル内における各種サービス業務を代行するサービス用知能移動ロボット(以下, ISロボット)の研究開発を行ってきた^{1)~4)}.

前報²⁾では, 絶えず変化する環境情報を多数のセンサによって検出し, それに基づいてロボットの移動戦略を変化させるために, ファジィ・ニューラルネットワークを用いた環境適応型自律移動システムを提案し, その有効性を述べた. これにより, 人間と共存する環境内において自律的に移動スキルを向上することが可能となった.

本ロボットでいう自律移動とは, 廊下や部屋環境での障害物回避行動, ドアの開閉, エレベータの操作などさまざまな計画された行動の集合である. このうちいずれかの動作が失敗した場合, 一連の自律移動が実行不能に陥る. このような想定する作業または自律移動を遂行するためには, 随時ロボットが自律的に自分の絶対位置を把握している必要がある.

ISロボットの自己位置認識法には, 内界センサを用いた相対的位置計測と, 外界センサを用いた絶対位置認識法の2種類がある. 近年, ロボットの外界センサとしてCCDカメラなどの視覚センサ情報が注目されており, 自己位置認識にも効果的に用いられている^{3)~7)}.

本報では, ISロボットの視覚情報による自己位置認識

手法を, 部屋番号表示板の情報を確認することにより大域的な自己位置を認識する「大域的自己位置認識」と, 2つの非常灯および1つの消火栓ランプをランドマークとして検出し, 三角測量により自己位置を補正する「局所的自己位置認識」より構成する. これら2種類の絶対位置情報とロボットの体感情報であるデッドレコニング方式により算出した相対的位置情報との関係を示し, 計算機シミュレーションと実験によりその有効性を検証する.

2. 概 要

2.1 人間の自己位置認識

人間の自己位置感覚は歩測などの体感情報および肉眼からの視覚情報を用いた位置認識によるものである. しかし, 一般に人間の認識における視覚情報の占める割合は80%~90%と言われており, 自己移動感覚においても体感情報よりも視覚情報のはるかに優先されていることが知られている. これは自己位置や自己移動という感覚情報が, 外界環境における自己の相対的な関係を示したものであり, 内界情報から外界との関係を推測するよりも, 視覚を主とした外受容器からの外界情報を用いて直接認識の方が効率が良く, かつ正確であるためであると考えられる.

オフィスビル内での移動においても同様に, 歩測による自己位置計測はほとんど行われることはなく, 視覚情報から得られる環境特徴量(ランドマーク)と認知地図とを照合することによる自己位置認識を頻繁に行っている.

* 原稿受付 1997年12月22日.

^{*1} 正員, 電気通信大学 (☎182-8585 調布市調布ヶ丘1-5-1).

^{*2} 電気通信大学大学院.

2.2 自己位置認識システムの概要

図1に示すように、ISロボットの自律移動システムは、移動体の自律移動制御を担う移動制御システム、移動体とマニピュレータの協調動作のためのハンドリングシステムおよび CCDカメラにより環境認識を行う画像認識システムに大別することができ、それぞれは有機的に結合され一元的に管理されるロボットシステムとして構成されている。さらに、移動制御システムは経路計画、環境認識、移動制御および学習の4つの機能から構成されている。ISロボットの自己位置認識システムは、前述の人間の自己位置認識方法に倣って、移動制御システムにある環境認識機能での内界センサを用いた認識法と、画像認識システムにおける視覚センサを用いた認識法からなる。それぞれの概要を以下に示す。

○ 内界センサによる自己位置認識：本ロボットはロボットを導入するために環境に手を加えることをしない通常のオフィスビル内を移動環境としているが、人間とは異なり、オフィスビル内の環境情報を建築図面などから引き起こした正確な環境地図情報としてもつことができる。移動制御システム内の環境認識機能を用いて、環境地図上に設定される絶対座標系上のロボットの位置と方向を認識する手法を用いる。具体的には、内界センサとして移動体の左右の駆動輪モータに取り付けたエンコーダ情報を用いて、デッドレコニング方式により二次元平面上での相対的な自己位置・方向を近似的に求める。

本手法は人間の体感情報による位置推測に相当するものである。本ロボットについては、車輪の空転のない理想的な環境内での移動実験において、直進誤差 1%、回旋誤差 2.3%以内の比較的正確な移動が可能であることを確認している。

○ 視覚センサによる絶対位置認識：デッドレコニング

Fig. 1 Autonomous locomotion system

方式による自己位置測定法では、検出誤差の累積と近似計算による算出法、または車輪の空転やドリフトなどの外乱や車輪半径の経年変化などから測定結果に誤差が生ずる。また、不慮の事故によりロボットの保有する自己位置情報の信頼性が著しく低下する可能性もある。そこで、画像認識システムにより得られる視覚情報を用いて、移動環境のもつ特徴量を抽出し、これをランドマークとして地図情報と照合することにより、現在位置・方向およびオフィスビル空間での座標を計測または補正するシステムを考える。本ロボットではその作業環境に汎用性をもたせるために、環境に手を加えることをせず、環境内に既存のランドマークを用いる。

さらに、絶対位置認識システムを局所的認識と大域的認識に分割する。局所的認識法では、内界センサによる相対位置認識において生じた誤差を外界センサ情報によって解消することを目的とする。また、大域的認識法では、相対位置情報の信頼性が著しく低下して行動不能となった場合や、局所的認識が不可能な場合に、廊下や部屋など類似した環境が多数存在するオフィスビル内でのおよその位置を把握するものとする。

ここで、ロボットが人間のように移動感覚の獲得に視覚情報を優先的に利用するためには、リアルタイムでの画像処理が必要不可欠である。しかし、本ロボットシステムでは移動感覚に対応し得る実時間での環境特徴量の抽出は困難である。本ロボットでは、実時間処理が可能な内界センサを用いた計測結果を基本的な自己位置情報として、搭載したカメラから得られる視覚情報に基づいて、任意の間隔で絶対位置を排他的に補正する方法を用いる。

3. 局所的自己位置認識

ISロボットの位置認識は、主に内界センサにより推測した位置認識情報を用いるが、前述のようにこの方法では、検出誤差の累積と近似計算による算出法などから継続的な位置誤差が生じる。これにより、前述のさまざまな自律移動動作が失敗し、一連の自律移動に支障を来す恐れがある。そこで、オフィスビルの廊下環境において、画像認識システムにより得られる作業環境のもつ特徴量と地図情報との照合により現在位置・方向を計測し、局所的に補正するシステム³⁾として局所的自己位置認識 (Local Self-Positioning, 以下 LSP) を提案する。

3.1 環境特徴量の抽出

ここで、廊下環境において視覚センサにより認識できる環境特徴量、つまりランドマークとなり得るものには以下のような特徴が必要である。

(1) 昼夜を問わず判別が可能であること

(2) 色彩, 明るさなどに特徴があること

(3) 形状が単純であること

廊下環境内でこのような特徴を持つものとして, 天井の蛍光灯, 非常口誘導灯, 消火栓ランプなどが挙げられる。

天井の蛍光灯を用いたナビゲーション^{5), 6)}も提案されているが, 夜間消灯された場合には判別不能となる。

一方, 非常口誘導灯および消火栓ランプは, 法律によってビル内の各階の要所要所に設置することが義務付けられており, 夜間も停電時にも消灯されることはなく, 障害物が妨げなければ一日中判別可能である。また, 非常口誘導灯は緑色の長方形, 消火栓ランプは赤色の円形と, それぞれ色彩と形状に特徴をもち, 形も単純で画像処理による認識が容易である。さらに, それぞれのランドマークの絶対座標は建築図面より求めることができ, システムが保有する地図情報はランドマークの絶対座標, 色および形状情報のみであり, 少ない記憶容量で十分である。そこで, LSP においてはこれらを環境特徴量として後述する画像処理に基づいて情報を抽出する。

3.2 ランドマーク抽出のための画像処理

ランドマークである非常口誘導灯と消火栓ランプを, 2 段階の画像処理によって抽出する。まず初期走査として, ロボットに搭載した CCD カメラの最大視野内でロボットの周囲をある間隔で二次元的に全方向撮影し, あらかじめ記憶した情報と比較することによってランドマークの候補を検出する。次に確認走査として, 初期走査において検出された候補をそれぞれ拡大し, ランドマークであるか否かの最終確認を行う。

○ 初期走査処理 : 初期走査処理では, 画像 1 枚における水平方向視野角を $36[\text{deg}]$ とし, カメラを水平面で回転させ, 10 枚の画像を取り込むことにより, ロボット周囲の全方向を認識する。これらの画像中から, ランドマークの候補を検出する。LSP で用いるランドマークには前述のように 3 つの特徴があり, まず明るい画素がランドマークの候補として挙げられ, ラブラシアンヒストグラム法による二値化処理により明るい画素の抽出を行う。

抽出された明るい画素の中には, ランドマークの他に, 廊下や室内の蛍光灯や太陽光などの影響による画素も含まれる。そこで, 非常口誘導灯および消火栓ランプのサンプルデータをもとに作成したカラーマップによって画素の振り分けを行う。カラーマップは, 色相軸と彩度軸において各 256 階調をもつテーブルであり, サンプルデータの色相値および彩度値を求めて, その座標がいずれに属するか, つまり非常口誘導灯, 消火栓ランプおよびそれ以外のフラグをセットしたものである。これを用いて, 先ほど得られた明るい画素について所属分けを行い, さらに縞模様状や孤立点などの不適切なものを削除する。

これらの処理を施した画像において, カラーマップを用いた単純領域拡張法を用いた領域統合を行う。それぞれの領域ごとに, 重心座標, 面積および領域としての所属を計算し, ランドマークとして想定した特徴をもち面積が閾値以上のものを本段階でのランドマーク候補とする。

○ 確認走査処理 : 本研究で用いた CCD カメラはズーム機能をもつので, 初期走査段階でランドマーク候補として判断された各領域方向にカメラを向け, 最大までズームアップして画像を取り込み, ランドマークの最終確認を行う。取得した画像に施す処理は, 基本的に初期走査と同じであるが, 二値化処理, 領域統合, カラーマップ参照の順に処理を行う。つまり, 統合した各領域において面積を計算した後に, 領域の各画素についてカラーマップにより所属分けを行う。次に, ランドマークの所属を有する画素を含む領域について, 領域面積に対するランドマーク所属画素の割合を計算し, 閾値以下のものは所属不一致としてランドマーク候補からはずす。

さらに, ランドマークの最終的な判断をテンプレートマッチングによって行う。本研究では, 一定のテンプレートではなく, 各領域の面積に等しく, その所属の形状に合ったテンプレートを作成する。つまり, 非常口誘導灯は縦横比が 1:3 の長方形をしており, また消火栓ランプは視線の方向に関わらずほぼ円形であるため, それぞれの形状で領域面積に等しいテンプレートを用意する。マッチングには残差逐次検定法を用い, 最良の位置を求めて, 領域面積に対するテンプレートに重ならない領域画素の割合 (無効画素率) を計算し, 閾値以上のものは形状不一致としてランドマーク候補より削除する。

以上により求められたランドマークの候補が規定数より多い場合には, 無効画素率の少ないものを選択し, 消火栓ランプ 1 つと非常口誘導灯 2 つの位置を求め, ロボットとそれらのなす角度を計算する。初期走査処理によってランドマーク候補が存在すると判断された画像を図 2 (a) に, その中から確認走査処理により非常口誘導灯が検出された結果の一例を図 2 (b) にそれぞれ示す。

3.3 自己位置計測方法

三次元空間内における物体の姿勢を表現するためには, 6 点の位置を相対的に計測しなければならないが, IS ロボットのようにオフィスビル内の比較的平坦な路面を移動するロボットでは, 二次元での姿勢, つまり位置と方向を表現できればよい。そこで, 本手法では廊下の長手方向両端にある 2 つの非常口誘導灯と消火栓ランプ 1 つ, 計 3 点のランドマークのロボットからの相対角度を移動体が静止した状態で計測し, 三角測量によりロボットの絶対位置および方向を求めることとする。

ロボットの移動環境である廊下を図 3 のようにモデル

Fig. 2 Image processing of LSP
(a) Original image, (b) Extracting an exit lamp

化し、廊下の長さ方向を x 軸、幅方向を y 軸とし、消火栓の位置を原点 $O(0,0)$ 、2つの非常口誘導灯を $E_1(X_1, W)$ 、 $E_2(X_2, W)$ とする。廊下の幅は $2W$ とし、ロボットの位置を $R(X_R, Y_R)$ とする。さらに前述の画像抽出結果より、ロボットから見た消火栓の方向と E_1 、 E_2 への視線のなす角度をそれぞれ、 θ_1 、 θ_2 とする。また、ロボットの位置を極座標で表現したときに、 $R(r, \theta)$ となるものとする。さらに、 $|RE_1| = l_1$ 、 $|RE_2| = l_2$ とおく。画像認識システムにより θ_1 、 θ_2 の値が得られ、 $\phi_1 = \pi - \theta_1$ 、 $\phi_2 = \pi - \theta_2$ の関係より ϕ_1 、 ϕ_2 の値を求める。このとき、ロボットの極座標表示位置は式 (1)、(2) より計算できる。

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{(X_1 - X_2) \sin \phi_1 \sin \phi_2 + W \sin(\phi_1 + \phi_2)}{X_1 \cos \phi_1 \sin \phi_2 + X_2 \sin \phi_1 \cos \phi_2} \right) \quad (1)$$

$$r = \frac{X_2 \sin(\theta + \phi_2) - W \cos(\theta + \phi_2)}{\sin \phi_2} \quad (2)$$

Fig. 3 Model of a corridor and lighting landmarks

3.4 測定誤差のシミュレーション

LSP における測定誤差を計算機シミュレーションにより算出する。式 (1)、(2) より、ロボットの極座標系における誤差 $\Delta\theta$ および Δr はそれぞれ次式により表される。

$$\Delta\theta = \left| \frac{\partial\theta}{\partial\phi_1} \right| \Delta\phi_1 + \left| \frac{\partial\theta}{\partial\phi_2} \right| \Delta\phi_2 + \left| \frac{\partial\theta}{\partial X_1} \right| \Delta X_1 + \left| \frac{\partial\theta}{\partial X_2} \right| \Delta X_2 + \left| \frac{\partial\theta}{\partial W} \right| \Delta W \quad (3)$$

$$\Delta r = \left| \frac{\partial r}{\partial\theta} \right| \Delta\theta + \left| \frac{\partial r}{\partial\phi_2} \right| \Delta\phi_2 + \left| \frac{\partial r}{\partial X_2} \right| \Delta X_2 + \left| \frac{\partial r}{\partial W} \right| \Delta W \quad (4)$$

シミュレーションに用いた各パラメータの値は実環境および実験装置の実測により表 1 で与えられる。

Table 1 Parameters for simulation of local positioning

Length parameters	Measured value (m)	Normalization
$ E_1 - E_2 $	31.233	1.000
$ E_1 - O $	19.498	0.623
$ E_2 - O $	11.735	0.376
$2W$	2.500	0.400
$\Delta X_1, \Delta X_2$	0.010	0.320×10^{-3}
ΔW	0.005	0.160×10^{-3}
Angle parameters	Measured value (deg)	—
$\Delta\phi_1, \Delta\phi_2$	0.18	—

ここで、消火栓ランプや非常灯の配置、廊下幅にはほとんど経年変化がないと考えられるので、それぞれの誤差を表のように小さな値に設定した。また、相対角度誤差 $\Delta\phi_1$ 、 $\Delta\phi_2$ は、ロボット実機のモータ、減速機およびエンコーダの分解能から求めた。

以上のパラメータを用いて、実測した廊下をモデル化した環境内において、各位置での測定誤差を算出した結果を図 4 に示す。シミュレーション結果より、LSP では点 O 、 E_1 および E_2 を頂点とした三角形の外接円上は特異点となり算出が不可能である。また、図示するように、その外接円近傍においては測定誤差が非常に大きくなることも分かった。提案する位置認識システムには、内界センサによる相対位置情報によってロボットが前述の測定誤差が大きくなる外接円から十分に離れた位置にある場合に、LSP によって位置補正を行うこととする。

Fig. 4 Error based on LSP system (simulation result)

4. 大域的自己位置認識

LSPでは、内界センサを用いた自己位置推定結果を局所的に補正し、自己位置のシステム誤差内での測定を可能とした。しかし、オフィスビル内には同じような環境が何箇所も存在し、特に廊下などにおいては、そこが何階なのか、そこまでの到達過程を知らなければ、人間でも判断がつかない場合がある。そのような場合には、自己位置を大域的に判断することが必要である。ここで言う大域的な判断とは、前述の局所的な絶対位置計測に対して比較的大きな領域での認識である。

LSPではビル内にある既存の特徴量、つまり消火栓ランプと非常口誘導灯をランドマークとして扱っているが、ロボットが何らかの影響によって、完全に自己位置情報を失った場合、それらを検出できる位置にあるか否かも判断できないことも考えられる。そこで、大域的自己位置認識 (Global Self-Positioning, 以下 GSP) によって、LSPでは不可能な任意環境での特徴を抽出し、およその位置を把握することで、LSPランドマークの検出可能な位置まで移動することにする。以下に、GSPの一手法について述べる。

4.1 部屋番号の認識による GSP

本ロボットは、オフィスビル内を作業環境としており、廊下やエレベータを用いて移動する。GSPにおいても、LSPと同様に環境に既存する特徴量をランドマークとして検出しなければならないが、その領域独自の特徴を表わすものでなければならない。そのためにランドマーク

として各部屋の部屋番号表示板を用いる⁴⁾。部屋番号表示板は、各部屋を中心にした特定の領域または位置を表すものであり、これより部屋単位での大域的な自己位置認識を行うことが可能である。通常、ビル内の部屋番号表示板は、床面からの高さやプレートの大きさ、文字の大きさや書式などが統一されていることが多く、特定の対象を探し出す場合に有効な手段となる。

4.2 部屋番号認識のための画像処理

実験環境として用いたビル内の部屋番号表示板とその書式を図5に示す。本実験環境では、壁の色が白、表示板の色は銀、そして文字の色が黒である。人間であれば、廊下環境の中から銀色の表示板を容易に抽出するが、画像処理では白色の背景から銀色の表示板を抽出することは困難である。そこで、本GSPでは次のように部屋番号認識を行う。取得画像より文字列を検出し、カメラと表示板の位置関係をもとにした可変テンプレートによって処理対象領域となる部屋番号表示板の切り出しを行う。次に、取得した画像に含まれる誤差や外乱などを除去するため、いくつかの補正を施し正規化する。さらに、補正した画像から表示板フォームに基づいて部屋番号を認識して、大域的な絶対位置を確認する。

4.2.1 部屋番号表示板領域の切り出し

GSPでの目標は部屋番号を確実に認識することであり、ここではその処理時間は問題としていないが、ある程度の処理速度の向上を図るために、取得画像から部屋番号表示板の領域のみを切り抜き、効率よく処理を行う。本システムにおいては、表示板を表す特徴として、その上に書かれた文字列に着目した。最初から精密に文字認識を行うことは困難であるが、およその大きさと座標を求めることは可能である。処理は以下に述べる手順によって行う。

○ 可変テンプレートによる座標系の変換：前述のように、本実験環境では表示板の書式が統一されている。そこで、処理領域を限定するために、カメラと表示板の位置関係をもとに、あらかじめ初期情報としてもっている表示板の書式を画像上の大きさに対応したテンプレートに変換する。これを可変テンプレートと呼び、この情報をもとにして各処理を行う。

○ 文字候補の検出：検索する対象が決まっているので、最初にそれ以外の情報を削除する。ここで、文字が黒色であるため明度情報を利用して二値化処理を施し、文字領域を取り出す。さらに、照明条件の変化にも対応するために、画像全体の明度情報をもとに閾値を決定した。次に、文字の一部欠損などに対処するため、膨張・収縮処理を行った後に、二値化画像に対する領域分割を行い、文

Fig. 5 Room plate in an experimental environment
(a) Original image, (b) Format of room plate

字候補を検出する前準備を行う。以上により得られた領域情報を用いて、文字の候補となる対象を決定する。この抽出に用いる要素は、可変テンプレートによる文字の大きさに応じた長さの比較、縦横の長さによる矩形に対する面積の比率および縦横比である。図 5 (a) に示した原画像に、以上の処理を施した結果を図 6 (a) に示す。

○ 文字列による表示板原点の検出 : 検出された文字候補から、さらに検出の対象としている下段文字列の文字領域を抽出する。図 5 (b) の書式に従い、検討対象とした領域群の中から直線近似が可能な領域を選択し、その集合の中で最大長を構成するものを下段文字列とする。この文字列の最左端の文字から表示板の左下の座標を求めることができ、これを取得画像上での表示板原点として処理対象領域の切り出す。以上の処理を施した結果を図 6 (b) に示す。

4.2.2 部屋番号領域の特定

前述の手法によって表示板の座標と大きさが判明した。次に、この処理対象領域の中から部屋番号の記された領域を抽出する。そのため、処理対象領域とその周辺に対する正規化を行い、処理に適した画像とした後に部屋番号領域を特定し、処理対象領域を絞る。

○ 処理対象領域画像の正規化 : 本研究での画像取り込み時においては、以下のような GSP での処理過程に問題となる因子が含まれる。

- (1) カメラのレンズ軸とプレートを中心軸のずれ
- (2) カメラのレンズ面と壁面との角度差から生じる画像の傾き
- (3) 環境差から生じる取得画像の明度差
- (4) 遮蔽物、表示板の異常などによる画像の欠陥

このうち (1) は前述の可変テンプレートにより解消できる。(4) は特殊な場合と考えられるため無視した。ここでは問題因子 (2)、(3) に対する補正を施し、取得画像を正規化する。まず、表示板とカメラの角度差に対する補正処理を行う。ここで、画像上での表示板の四隅の座標はすでに得られており、表示板が傾いて撮影された場合には、この矩形内に収まることはない。そこで、前述のように得られた表示板原点を中心にして、下段文字列の傾きから表示板との角度差を求め、処理対象領域とその周囲に対して回転処理を施す。

次に、表示板の明度に対する補正処理を行う。廊下環境では蛍光灯の配置具合や窓などから入る太陽光、壁やガラスなどによる反射によって表示板の明るさが著しく変化する。特に本研究において処理対象としている表示板は銀色の金属板であるため、このような光の影響を受けやすい。傾き修正済み矩形領域の上辺の明度の分布状況を調べることによって、全体の明度情報を補正する。表

示板は縦に対する横の幅が大きくとられているため、影響の大きい水平方向について処理を行う。明度情報は、原画像の RGB 表色系を HSI 表色系に変換し、上記の補正を行う。以上の補正を施した結果を図 6 (c) に示す。

○ 部屋番号領域の抽出 : 正規化処理を施した画像において、部屋番号が表示されている領域のおおよその座標と大きさは可変テンプレートによって算出できるが、さまざまな累積誤差から算出した座標と画像上での座標が異なる可能性がある。特に本ロボットでは表示板を仰ぎ見る姿勢で画像を取り込むため、取得画像では縦方向に対して表示板が収縮する。そのため、可変テンプレートにより大域的に得られた座標をもとに、微調整を施して部屋番号領域を抽出する。

正規化された画像では、文字列は上段、下段とも水平になっているため、水平方向に明度情報のヒストグラムを生成することにより、上段と下段の隙間の中心を検出できる。この中心線と可変テンプレートから算出した中心線を比較することで、縦方向の微調整が可能である。これにより部屋番号領域を抽出する。

部屋番号領域を抽出した結果を図 6 (d) に示す。

4.2.3 部屋番号の認識

原画像から部屋番号領域までに絞られた処理対象領域において、部屋番号を示す数字の認識を行う。まず、明度情報による占有面積をもとに処理対象領域に二値化処理を施し、数字と背景とに分離する。本実験環境においては部屋番号が 3 桁で表されているため、可変テンプレートよりおおよその分割領域を知ることができるが、処理精度を向上させるために縦方向のヒストグラムを生成し、その極値をもとに各文字の境界線の補正を行う。

次に、桁ごとに領域分けされた文字を認識する。本研究では、画像取り込み環境および表示板の性質上、光の影響で文字の一部が欠如または膨張してしまう可能性がある。そこで、各桁で縦方向および横方向のヒストグラムを生成し、あらかじめもっている数字 0 ~ 9 までのヒストグラムデータと比較し、各桁において最も誤差の少ないものを出力し、3 桁の部屋番号として認識する。

部屋番号領域においてヒストグラムを生成した結果を図 6 (e) に示す。図示するように、桁ごとに領域分けされ、それぞれでヒストグラムが生成されている様子が分かる。さらに、出力された部屋番号が実際に存在する番号であるかどうかを確認する。存在しなかった場合、つまり GSP 出力が失敗した場合には、前述のように数字 0 ~ 9 まで比較したヒストグラムデータ誤差をもとに、3 つの数字での誤差の和が小さい順から出力して、再び存在する部屋番号であるか否かの対応付けをする。

以上のようにして部屋番号の認識し、その結果をもと

Fig. 6 Image processing based on GSP

に表示板の絶対座標を中心にした GSP を行う。

5. 実験結果

LSP および GSP の認識実験を行った。実験装置として、Pentium 120MHz CPU 搭載のパソコン、CCD カメラには CCD カラービデオカメラ MI-310、画像処理ボードにはカラービデオ信号デジタイジング& スーパーイン

ポーズボード Super CVI を用いた。

5.1 LSP 認識結果

図 3 および表 1 と同様の実環境において、LSP によるロボットの絶対位置計測を行った実験結果を表 2 に示す。表中で真の値に偏差をもたせた理由は、移動体の位置決め精度を見込んだためである。また、PM 1:00 における測定値は、シミュレーションから明らかとなった大きな誤差が生じる外接円近傍の値であり、実際に外接円付近でどれだけの誤差が生じるかを示したものである。

Table 2 Experimental results based on LSP recognition

Time	True position (m)	Measured position (m)
PM 0:00	(0.00±0.03, 1.25±0.03)	(0.06, 1.32)
PM 1:00	(-3.66±0.03, 0.68±0.03)	(-7.97, 0.90)
PM 6:30	(0.00±0.03, 1.25±0.03)	(0.05, 1.33)

このように、図 3 における O , E_1 , E_2 を通る外接円から離れた消火栓付近の場所 (PM 0:00, PM 6:30) では、昼夜を問わずよい精度で測定ができることがわかる。廊下全体の長さが約 31m であることを考えれば、約 30m の範囲に対して 10mm のオーダで位置の測定が可能になる。これはドアなどへの進入を考えた場合、十分な精度であるといえる。また、y 軸方向については廊下幅が約 2.5m と短いため、ロボットに搭載した超音波測距センサを用いた測定もできる。y 軸方向では超音波測距センサを併用することで、より高精度な測定が可能になると考えられる。

ここで、PM 1:00 のような外接円近傍での測定時のみならず、不慮の外乱によって測定結果に大きな誤差が生じることも十分に考えられる。本システムでは、現在位置に対して異常な測定結果がでた場合には、GSP による認識を行うこととする。

以上のように、このシステムでは絶対座標により表現される作業環境内にある固定物、つまり消火栓および非常口ランプがもつ幾何学的な特徴量を基準とするため、誤差の累積や算出時の誤差などがなく、つねに測定システムのもつ固有の誤差内に抑えることが可能である。それゆえ、本システム固有の誤差を目標限度内とし、車輪に取り付けたエンコーダ情報を用いたデッドレコニング方式による現在位置を補正することによって、自律動作の実現に十分な位置および方向情報を得ることできる。LSP 認識に要する時間は、約 3~4 分であり、これの短縮が今後の課題である。

5.2 GSP 認識結果

ある 8 階建てのオフィスビル内の 3, 4, 5 および 8 階で GSP における部屋番号認識実験を行った。GSP 認識に要する時間は通常の場合、約 40 秒である。実験より得られ

た各階およびビル全体の試行回数、認識成功回数および認識成功率を表3に示す。

Table 3 Experimental results based on GSP recognition

Floor	Count of testing	Count of success	Success ratio (%)
3rd	18	16	88.9
4th	20	17	85.0
5th	20	13	65.0
8th	16	15	93.8
Total	74	61	81.5

5階での認識率だけが65%と低いものの、全体として80%を越える認識率を得ることに成功した。これにより、各部屋の番号表示板を中心とした大域的な自己位置を検出することができ、つづいてLSPでの認識が可能な領域まで自律移動を行って前述の絶対位置計測を行うことにより、目的とする自律動作を実現できると考える。また、LSPと同様にロボットの周囲全方向について複数のGSPを行うことで、より正確なGSP認識が可能となる。

本手法における認識失敗の主な原因として次のことが考えられる。

- 蛍光灯の光や太陽光が表示板に直接あたったことによる極端な光の反射あるいは逆に極端に暗い環境
- 表示板とカメラとの間に障害物が存在し、取得した画像に表示板が欠落する場合

さらに、本実験で使用した部屋番号表示板において、片仮名が他の文字に比べて小さく表示されていたため、片仮名を含む表示板が比較的多い5階での認識率が低下したと思われる。

6. 結 論

オフィスビル環境内を自律移動するロボットの自己位置認識システムとして、CCDカメラを用いた自己位置認識システムを提案した。本報では、これを局所的自己位置認識(LSP)と大域的自己位置認識(GSP)より構成し、シミュレーションおよび実験結果より、それぞれの有効性を検証した。本研究で得られた主な結論は以下の通りである。

(1) 内界センサ情報として駆動輪エンコーダ情報を用いてロボットの位置を推測する、いわゆるデッドレコニング方式の欠点を補うために、人間の自己位置認識をもとに、外界センサとしてCCDカメラによる視覚情報を用いたLSPおよびGSPから成る自己位置認識システムを提案した。また本研究では、オフィスビル環境内に既存のランドマークを用いることによって、汎用性のあるシステムを構築した。

(2) ビルの廊下にある非常口誘導灯2個と消火栓ランプ1個を用いてロボットの絶対位置および方向を検出するLSPを提案した。本方法により外乱やオフセット誤差がある場合にも正確な位置検出が可能になり、自律的位置補正ができるようになった。

(3) 部屋番号表示板を検出することによりロボットの位置を認識するGSPを提案した。本手法によりLSPでの認識が不可能な場合においても、各部屋を中心としたロボットのおおよその位置を認識することにより、LSP認識が可能な位置まで移動することが可能となった。

(4) 本システムにおいてロボットが保有する地図情報は、各ランドマークの座標、カラーマップや書式など、比較的情報量が少ないものであるため、記憶容量の面でも効率の良い手法である。

(5) 本研究の結果より、提案した自己位置認識システムは、人間と共存する環境内において自律的に移動するロボット等の自己位置認識に適していると思われる。

謝 辞

本研究の実施にあたって多大のご支援をいただいたセイコーエプソン(株)山崎保範、(株)ダイナックス 渡辺福德、日東精工(株)荻野和光、(株)村田製作所 羽室光郎、(株)リコー 佐伯講介、(株)三協精機製作所 安川員仁および清水建設(株) 吉田哲二の各氏に深甚な謝意を表す。

参考文献

- [1] 山藤和男, 他, サービス用知能移動ロボットの開発研究, 日本機械学会, ロボメカ講演会'92講演論文集 No.920-33.Vol.B, 269-270 (1992).
- [2] 田中孝之, 他, サービス用知能移動ロボットの研究開発 (第1報), 日本機械学会論文集 C編, Vol.63, No.605, 211-218 (1997).
- [3] 渡辺浩樹, 他, サービス用知能移動ロボットの開発 (第5報), 日本機械学会, ロボメカ講演会講演論文集 No.95-17, Vol.A, 88-91 (1995).
- [4] 片江 毅, 他, サービス用知能移動ロボットの開発 (第14報), *ibid.*, No.96-2, Vol.A, 694-697 (1996).
- [5] 橋本 岳, 他, 天井蛍光灯を用いた画像処理による移動体の実用速度での自律走行, 計測自動制御学会論文集, Vol.31, No.10, 1672-1677 (1995).
- [6] H. WANG, et al., Self-Localization for an Electric Wheelchair, JSME International Journal, Series C, Vol.40, No.3, 433-438 (1997).
- [7] 李 仕剛, 他, 経路と交差点の観測による環境地図, 日本機械学会他2学会, 第2回ロボティクス・シンポジウム講演予稿集 No.97-23, 145-150 (1997).